

第3章 计算机网络设备

在计算机网络中,联网的计算机要通过传输介质和网络设备才能连接起来,这些传输介质和网络设备负责信号的传输、差错的纠正、流量的控制、网络的互联、路径的选择等,确保发送端主机的数据能够正确地到达目的端主机。本章讨论通信子网中的网络设备和传输介质,介绍它们的特性和工作原理。

3.1 传输介质

传输介质是计算机网络最基础的通信设施,是连接网络上各结点的物理通道。计算机网络中的传输介质可以分为两类:有线介质和无线介质。有线介质包括同轴电缆、双绞线和光纤,无线介质包括无线电波、微波、红外线等。

3.1.1 同轴电缆

1. 同轴电缆的结构与分类

同轴电缆的结构如图 3-1(a)所示,它由内导体、绝缘层、屏蔽层和外保护层组成。使用同轴电缆联网时需要使用专用的连接器件,图 3-1(b)是细同轴电缆使用的 BNC 头和 T 型头。

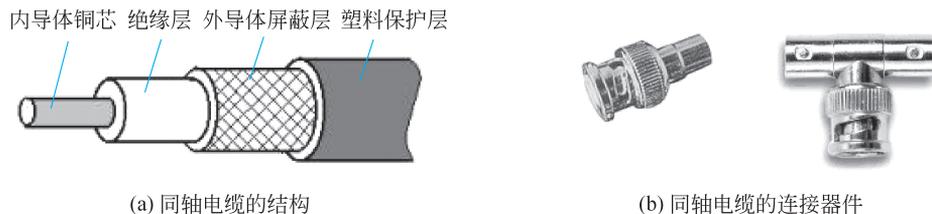


图 3-1 同轴电缆及其连接器件

同轴电缆主要有以下型号。

- (1) RG-8 或 RG-11, 匹配阻抗为 50Ω , 用于 10Base-5 以太网, 又叫粗缆网。
- (2) RG-58A/U, 匹配阻抗为 50Ω , 用于 10Base-2 以太网, 又叫细缆网。
- (3) RG-59/U, 匹配阻抗为 75Ω , 用于 ARCnet(早期一种令牌总线网络)和有线电

视网。

(4) RG-62A/U, 匹配阻抗为 93Ω , 用于 ARCnet。

同轴电缆又分为基带同轴电缆和宽带同轴电缆, 基带同轴电缆的屏蔽层由网状铜丝织成, 其匹配阻抗为 50Ω , 适合传输数字信号; 宽带同轴电缆的屏蔽层由铝箔缠绕而成, 其匹配阻抗为 75Ω 或 93Ω , 主要用于传输模拟信号。

在局域网中最常使用的是匹配阻抗为 50Ω 的基带同轴电缆, 其数据传输率为 10Mb/s 。

2. 同轴电缆主要特性

根据同轴电缆的直径可以将 50Ω 的基带同轴电缆分为粗缆(RG-8 和 RG-11)和细缆(RG-58)两种。粗缆的有效传输距离较长, 在使用中继器的情况下, 其最大传输距离可达 2500m (单段最远 500m , 最多 5 段)。由于粗缆在安装时不需要切断, 因此可以根据需要灵活调整计算机的入网位置。但粗缆网络必须安装收发器和收发器电缆, 安装难度也大, 所以总体造价高。细缆有效传输距离较短, 在使用中继器的情况下, 其最大传输距离仅为 925m (单段最远 185m)。细缆安装比较简单、造价低, 但由于安装过程中要切断电缆, 两头还需要装上基本网络连接(BNC)头, 然后接在 T 型连接器两端, 所以当接头多时容易产生接触不良的隐患, 这是目前运行中的细缆以太网最常见的故障之一。

同轴电缆有较强的抗干扰能力, 为了保证同轴电缆具有良好的电气特性, 其电缆屏蔽层必须接地, 同时两头要有 50Ω 的终端适配器来削弱信号反射作用。

用粗缆和细缆连接的网络都是总线拓扑结构, 即一根线缆上接多台计算机。这种拓扑结构适用于机器密集的环境, 但是当任一连接点发生故障时, 故障就会影响串接在整根电缆上的所有机器, 故障的诊断和修复都很麻烦, 所以, 它正逐步被双绞线或光缆所替代。

3.1.2 双绞线

1. 双绞线的结构与分类

双绞线是由两根绞合的绝缘铜线外部包裹橡胶外皮而制成, 有两对线型和四对线型, 两对线型的接插头为 RJ-11, 四对线型的接插头为 RJ-45, 如图 3-2 所示。

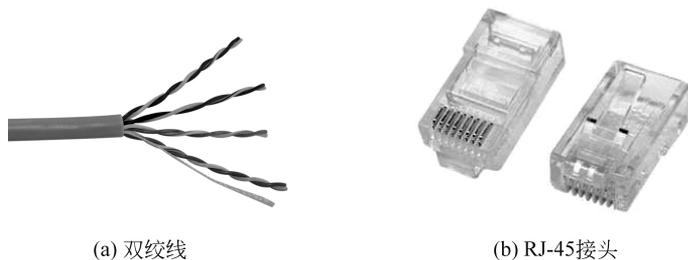


图 3-2 双绞线和 RJ-45 接头

双绞线电缆包括屏蔽双绞线 STP 和非屏蔽双绞线 UTP 两类。屏蔽双绞线因为有屏

蔽层,所以造价高、安装复杂,只在特殊情况(电磁干扰严重或需要防止信号向外辐射)下使用,非屏蔽双绞线 UTP 无金属屏蔽材料,只有一层绝缘胶皮包裹,价格相对便宜,安装维护也容易,得到了广泛使用。

按照传输特性可以将双绞线分为 7 类。

(1) 1 类线:主要用于传输语音(一类标准主要用于 20 世纪 80 年代初之前的电话线缆),不用于数据传输。

(2) 2 类线:用于语音传输和最高传输速率 4Mb/s 的数据传输,早期用于 4Mb/s 的令牌环网。

(3) 3 类线:该类电缆的带宽为 16MHz,用于语音传输及最高传输速率为 10Mb/s 的数据传输,主要用于 10 兆以太网(10BASE-T)。

(4) 4 类线:该类电缆的带宽为 20MHz,用于语音传输和最高传输速率达 16Mb/s 的数据传输,主要用于 16 兆令牌环局域网和 10 兆以太网。

(5) 5 类线:该类电缆增加了绕线密度,外套一种高质量的绝缘材料,带宽可达 100MHz,用于语音传输和最高传输速率为 100Mb/s 的数据传输,主要用于千兆以太网(100BASE-T)以及 10BASE-T 网络,是最常用的电缆。

(6) 超 5 类线:超 5 类具有衰减小、串扰少的特点,并且具有更高的抗衰减与串扰的比值(ACR)和信噪比、更小的时延误差,性能比之 5 类线得到很大提高。超 5 类线带宽可达 200~300MHz,主要用于千兆以太网(1000BASE-T)。

(7) 6 类线:该类电缆的带宽可达 350~600MHz,能提供 2 倍于超五类的带宽。6 类线的传输性能远远高于超 5 类标准,最适用于传输速率高于 1Gb/s 的应用。

双绞线电缆主要用于星形网络拓扑结构,即以集线器或网络交换机为中心,各网络工作站均用一根双绞线与之相连,这种拓扑结构非常适合结构化综合布线,可靠性较高,任何一个连线发生故障都不会影响网络中的其他计算机,故障的诊断与修复也比较容易。

2. 双绞线的主要特性

- (1) 传输距离一般不超过 100m,传输速度随双绞线类型而异。
- (2) 价格低,重量轻,易弯曲,安装维护容易。
- (3) 可以将串扰减至最小或加以消除,屏蔽双绞线的抗外界干扰能力强。
- (4) 具有阻燃性。
- (5) 适用于结构化综合布线。

3. 双绞线的接线方式

常用的 5 类双绞线有 4 对线,8 种颜色,分别是橙色、橙白色、绿色、绿白色、蓝色、蓝白色、棕色、棕白色,每种颜色的线都与对应的相间色线扭绕在一起。从传输特性上看,8 条线没有区别,连接计算机网络时只需要 4 根线就可以了,那么究竟用哪 4 根线? 如何连接? 电子工业协会(Electronic Industries Alliance, EIA)(后与其他组织合并形成电信工业协会(Telecommunications Industry Association, TIA))作出了规定,这就是 EIA/TIA568A 和 EIA/TIA568B 标准,简称 T568A 或 T568B 标准。这两个标准规定,联网时

使用橙色、橙白色、绿色、绿白色这两对线,将它们连接在 RJ-45 接头的 1、2、3、6 四个线槽上,其他四根线可以在结构化布线时用于连接电话等设备。具体接线线序如表 3-1 和表 3-2 所示。

表 3-1 EIA/TIA568A 接线标准

RJ-45 线槽	1	2	3	4	5	6	7	8
色彩标记	绿白	绿	橙白	蓝	蓝白	橙	棕白	棕

表 3-2 EIA/TIA568B 接线标准

RJ-45 线槽	1	2	3	4	5	6	7	8
色彩标记	橙白	橙	绿白	蓝	蓝白	绿	棕白	棕

在连接双绞线时也可以根据需要进行选择将其制作成直连线(或直通线、正接线)和交叉线(或反接线)。直连线是指双绞线两端接线线序一致,都用 T568A 或都用 T568B 标准,由于习惯的关系,多数直连线用 T568B 标准;交叉线是指双绞线两端分别使用不同的接线标准,一端用 T568A 标准,另一端用 T568B 标准。

两种接线方法分别用于不同的场合。直连线用于连接不同类型的设备,不同类型的设备其内部接线线序是不同的,如图 3-3(a)所示,例如,计算机网卡与交换机或集线器连接,交换机与路由器连接,集线器普通口与集线器级联口(Uplink 口)的连接等;交叉线用于连接相同类型的设备,相同类型的设备内部接线线序相同,如图 3-3(b)所示,例如,两个计算机通过网卡连接,两个集线器或两个交换机之间用普通口连接,集线器普通口与交换机普通口的连接等。实际上,不管是哪种接线都是为了保证一端的发送端(1 橙白、2 橙)连接另一端的接收端(3 绿白、6 绿)。当两个不同类型的设备相连时,由于设备内部线序不一致,用直连线恰好可以实现一端的发送线槽与另一端的接收线槽的相连;当两个相同类型的设备相连时,由于其内部线序一致,所以用交叉线恰好可以实现一端的发送线槽与另一端的接收线槽相连。

现在,新型网络设备都有自动识别发送端和接收端的功能,所以交叉线的使用越来越少。

3.1.3 光纤

光纤是网络传输介质中传输性能最好的一种,大型网络系统的主干网几乎都用光纤作为传输介质,光纤是发展最为迅速的、最有前途的传输介质。

1. 光纤的结构

光纤的横截面为圆形,由纤芯、包层两部分构成。二者由两种光学性能不同的介质构成,其中,纤芯为光通路,而包层则由多层反射玻璃纤维构成,用来将光线反射到纤芯上。实用的光缆外部还须用加固纤维(尼龙丝或钢丝)和 PVC 保护外皮,用以提供必要的抗拉

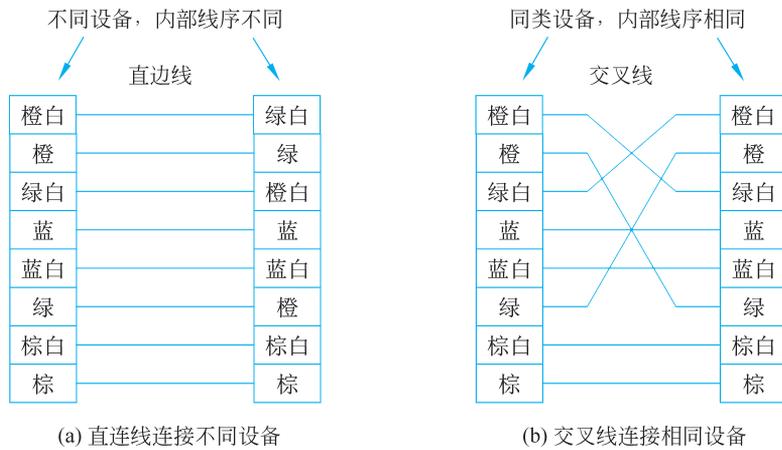


图 3-3 直连线与交叉线的使用

强度,以防止光纤受外界温度、弯曲、外拉等影响而折断。光纤的结构如图 3-4 所示。

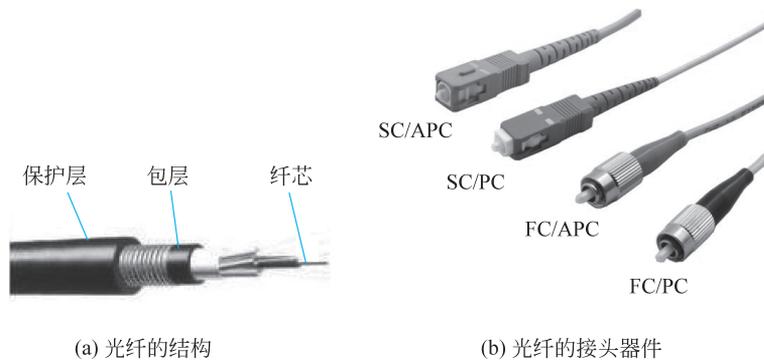


图 3-4 光纤的结构

2. 光纤的传输原理

光纤传输系统的结构如图 3-5 所示。在光信号传输时,发送端先通过发光二极管将电信号转换为光信号,传输至接收端后,接收端使用光电二极管将光信号转换成电信号。



图 3-5 光纤传输系统

光纤分为单模光纤(single-mode fiber, SMF)和多模光纤(multi-mode fiber, MMF)两种类型。

单模光纤内径 $<10\mu\text{m}$,只传输单一频率的光,光信号沿轴路径直线传输,速率高,可

达百 Gb/s。单模光纤用红外激光管作光源(ILD),传输距离远,可达数十千米、成本高,如图 3-6(a)所示。

多模光纤纤芯直径为 $50\sim 62.5\mu\text{m}$,可以传输多种频率的光,光信号在光纤壁之间呈波浪式反射,多频率(多色光)共存,其使用发光二极管作光源(LED),传输距离近,约 2km,损耗大,成本低,如图 3-6(b)所示。

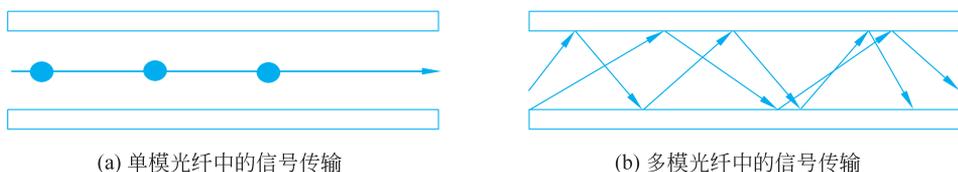


图 3-6 光信号传输过程

3. 光纤的主要特性

- (1) 信道带宽大,传输速度快,可达 1000Mb/s 以上。
- (2) 传输距离远,就单段光纤的传输距离而言,单模光纤可达几十千米,多模光纤可达几千米。
- (3) 抗干扰能力强,传输质量高。这是由于光纤中传输的是光信号,所以不受外部电磁场干扰所致。
- (4) 信号串扰小,保密性好。
- (5) 尺寸小、重量轻,便于敷设和运输。
- (6) 制造所用材料是塑料和玻璃,来源丰富,节能环保。
- (7) 无辐射,难以窃听。
- (8) 线缆适应性强,寿命长。

3.1.4 无线传输介质

无线传输就是利用大气层和外层空间传输电磁波信号,地球上的大气层为大部分无线传输提供了物理通道,就是常说的无线传输介质。无线传输所使用的电磁波频段很广,目前主要的有无线电波、微波和红外线等。

1. 无线电波

无线电波是指频率范围为 $10\text{kHz}\sim 1\text{GHz}$ 电磁波谱。这一频率范围被分为短波波段、超高频波段和甚高频波段,无线电波主要用于无线电广播、电视节目以及手提电话通信,也可用于传输计算机数据。

在多数国家,无线电波分为管制和非管制两个部分,其中,非管制频段是开放的,任何人都可以随意使用,而管制部分在使用时必须经过专门的部门批准,这种部门在美国是联邦通信委员会(FCC),在中国是国家无线电管理委员会。

无线通信有两种方式,即单频通信和扩频通信。

所谓单频通信是指信号的载波频率单一,其载波的可用频率范围遍及整个无线电频率。与有线传输相比,单频通信传输速率低、有效传输距离近,若要提高传输率和传输距离,就需要特别高的发射功率,而大型发射塔、发射天线、大功率收发器等将使单频通信价格非常昂贵。另外,单频通信信号在开放的空间传输,很容易与其他电磁波混杂,抗干扰能力很差,且非常容易被窃听。

所谓扩频通信是扩展频谱通信的简称。它的特点是用来传输信息的射频带宽远大于信息本身带宽。扩频通信系统的出现被誉为是通信技术的一次重大突破。

扩频技术通常有4种类型,如下所示。

(1) 直接序列扩频,简称直扩(DS)。直扩所传送的信息符号经伪随机序列(或称伪噪声码)编码后对载波进行调制,经伪随机序列调制后的速率远大于要传送信息的速率,调制后的信号频谱宽度也将远大于所传送信息的频谱宽度。

(2) 载波频率跳变扩频,简称跳频(FH)。跳频载荷信息的载波信号频率受伪随机序列的控制,会快速地在给定的频段中跳变,此跳变的频带宽度远大于所传送信息的频谱宽度。

(3) 跳时(TH)。跳时通信会将时间轴分成周期性的时帧,每帧内分成许多时间片,在一帧内哪个时间片发送信号由伪码控制,由于时间片宽度远小于信号持续时间,所以其能实现信号频谱的扩展。

(4) 混合扩频。混合扩频是以上几种不同的扩频方式混合应用,例如,直扩和跳频的结合(DS/FH),跳频和跳时的结合(FH/TH),以及直扩、跳频与跳时的结合(DS/FH/TH)等。

扩频通信的特点主要有以下几点。

(1) 抗干扰性能好。它具有极强的抗人为宽带干扰、窄带瞄准式干扰、中继转发式干扰的能力。

(2) 隐蔽性强、干扰小。因信号在很宽的频带上被扩展处理,所以其单位带宽上的功率很小,即信号功率谱密度很低,信号很容易被淹没在白噪声之中,别人难于发现其存在,再加之扩频编码还需解密,所以他人就更难拾取有用信号。

(3) 易于实现码分多址。扩频通信占用宽带频谱资源通信,改善了其自身的抗干扰能力,那么其是否浪费了频谱资源呢?其实正相反,实际上提高了频带的利用率。正是由于扩频通信要用扩频编码进行扩频调制发送,而信号接收需要用相同的扩频编码之间的相关解扩方法才能得到,所以这就给频率复用和多址通信提供了基础。在实际使用中可以利用不同码型的扩频编码之间的相关特性,分配给不同用户不同的扩频编码,就可以区别不同用户的信号,众多用户只要配对使用自己的扩频编码,就可以互不干扰地同时使用同一频率通信,从而实现频率复用,使拥挤的频谱得到充分利用。

2. 微波

微波是频率范围在3GHz~300GHz的电磁波。微波通信主要采用扩频通信方式。微波扩频通信技术特点是利用伪随机码对输入信息进行扩展频谱编码处理,然后在某个

载频上进行调制以便传输。我国微波通信常用的微波频段为 L、S、C、X 诸频段。

数字微波系统按接入方式可分为点对点、点对多点两种。点对点方式是指连接的双方用一对微波扩频传输设备相连;点对多点方式是指扩频系统含一个中心点和若干分布接入点,若干分布接入点以竞争方式或固定分配方式分享中心点提供的总信道带宽。

微波数据通信系统有两种形式:地面(基于地球表面)系统和卫星系统,它们使用的频率比较相似。一般微波通信指的是地面微波。

地面微波使用较低的频段,一般使用 4GHz~28GHz 的频率范围,采用定向式抛物面形天线收发信号,要求与其他地点之间的通路没有障碍或视线能及。由于微波信号具有极强的方向性,只能直线传播,遇到阻挡就被反射或被阻断,而地球是圆的,所以在传输距离超过 50km(有高架天线时可以更远些)或遇到高山阻隔时需要设置中继站将信号放大再进行传输。

由于微波通信频带宽、容量大,故可以用于各种电信业务的传送。电话、电报、数据、传真以及彩色电视等均可通过微波电路传输。

地面微波系统的主要用途是完成远距离的通信任务,适合在不宜铺设电缆的场合使用。与同轴电缆相比,穿越相同的距离时微波所需的放大器或中继器要少得多,用微波连接两个分开的建筑,然后在建筑间传输闭路电视或局域网的信号是很常见的组网方案。在建筑物中有时也采用小规模的地面微波方式组建局域网,通过小型发送装置与中心位置的集线器进行微波通信,多个集线器通过微波设备相互连接到一起便组成了一个完整的网络。

微波通信不需要申请,但是地面微波设备经常采用受管制的频率,所以需要缴纳一定费用,使用时间也受到一定的限制。

微波通信的特点如下。

(1) 通信频段的频带宽。微波频段占用的频带约 300GHz,而全部长波、中波和短波频段占有的频带总和不足 30MHz,前者是后者的 10000 多倍。一套微波中继通信设备可以容纳几千甚至上万条话路同时工作,或传输电视图像信号等宽频带信号。

(2) 受外界干扰的影响小。工业干扰、大气中电磁波干扰及太阳黑子的活动对微波频段通信的影响较小(当通信频率高于 100MHz 时,这些干扰对通信的影响极小),只是严重影响短波以下频段的通信。因此,微波中继通信较稳定和可靠。

(3) 通信灵活性较大。微波中继通信采用中继方式,可以实现地面上的远距离通信,并且可以跨越沼泽、江河、湖泊和高山等特殊地理环境。在遭遇地震、洪水、战争等灾祸时,通信设施的建立、撤收及转移都较容易,这些方面微波比电缆通信具有更大的灵活性。

(4) 天线增益高、方向性强。当天线面积给定时,天线增益与工作波长的平方呈反比。由于微波中继通信的工作波长较短,因而高增益天线制造较易,可以有效降低发射机的输出功率。另外,微波具有直线传播特性,使用微波通信可以利用微波天线把电磁波聚集成很窄的波束,使微波天线具有很强的方向性,有效减少通信中的相互干扰。

(5) 投资少、建设快。在通信容量和质量基本相同的条件下,以每信道每千米为单位计算,微波中继通信的线路建设费用不到同轴电缆通信线路的一半,还可以节省大量有色金属,建设时间也比后者短。

3. 卫星微波

卫星通信系统实际上也是一种微波通信,它以卫星作为中继站转发微波信号,实现多个地面站之间的通信,卫星通信的主要目的是实现对地面的“无缝隙”覆盖,由于卫星工作于几百、几千、甚至上万千米的轨道上,因此其覆盖范围远大于一般的移动通信系统,3颗卫星就可以覆盖整个地球表面。但卫星通信要求地面设备具有较大的发射功率,因此不易普及使用。

卫星通信系统由卫星段、地面段、用户段3部分组成。卫星段在空中起中继站的作用,即把地面站发上来的电磁波放大后再送回另一地面站;地面站则是卫星系统与地面公众网的接口,地面用户也可以通过地面站出入卫星系统形成链路,地面站还包括地面卫星控制中心,及其跟踪、遥测和指令站;用户段即是各种用户终端。卫星通信广泛应用于视频、电话、数据等信息的远程传输。

卫星通信提供两种连接方式,点对点的方式和一点对多点的方式。点对点的方式中卫星用来连接两个地面站;一点对多点的连接方式中,卫星发送的信号可以被多个地面站接收。

卫星通信系统的特点有以下几点。

(1) 下行广播,覆盖范围广。卫星通信对地面的情况如高山海洋等地理藩篱不敏感,适合为业务量比较稀少的地区提供大范围的覆盖,在覆盖区内的任意点均可以进行通信,而且成本与距离无关。

(2) 工作频带宽。可用频段介于150MHz~30GHz。目前已经开始开发O、V波段(40~50GHz),而KA波段甚至可以支持155Mb/s的可视数据业务。

(3) 通信质量好。卫星通信中电磁波主要在大气层以外传播,传播性能非常稳定。虽然在大气层内的传播会受到天气的影响,但卫星通信仍然是一种可靠性很高的通信系统。

(4) 网络建设速度快、成本低。除建地面站外,卫星通信无需地面施工,运行维护费用低。

(5) 信号传输时延大。高轨道卫星的双向传输时延达到秒级,用于话音业务时会有非常明显的中断现象发生。

(6) 控制复杂。由于卫星通信系统中所有链路均是无线链路,而且卫星的位置还可能处于不断变化中,因此其控制系统也较为复杂,控制方式有星间协商和地面集中控制两种。

4. 红外通信

红外通信是指利用红外线作为传输手段的通信方式。红外通信系统中红外线的传输方式主要有两种:一是点对点方式;二是广播。使用点对点红外介质的优点是可以减少衰减,使窃听更困难,但实施时需要保证发射器和接收器处于同一直线上,中间不能有任何阻隔;而红外广播系统是向一个广大的区域传送信号,并且允许多接收器同时接收信号。

红外通信主要应用于掌上计算机、笔记本计算机、个人数字处理设备和桌面计算机之间的文件交换,以及计算机装置之间传送数据、控制电视、盒式录像机和其他设备。

红外通信的主要特点是低价格、高带宽、安装简单、高可靠性、轻便。

3.2 物理层上的网络设备

3.2.1 集线器

1. 集线器及其作用

集线器(hub)是将网络中的站点连接在一起的网络设备。在局域网上,每个站点都需要通过某种介质连接到网络上,在使用双绞线联网时,由于其 RJ-45 接头的特殊性,使得多个工作站连接在一起时必须依赖一个中心设备,这样的中心设备就称为集线器或集中器。大多数集线器都有信号再生或放大作用,且有多个端口,所以集线器有时还称为多端口中继器,如图 3-7 所示。集线器的作用是将网络中的计算机连接在一起,如图 3-8 所示。



图 3-7 集线器

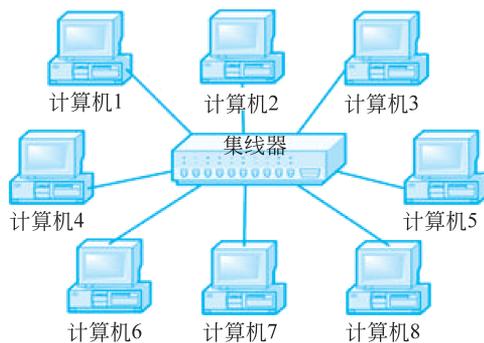
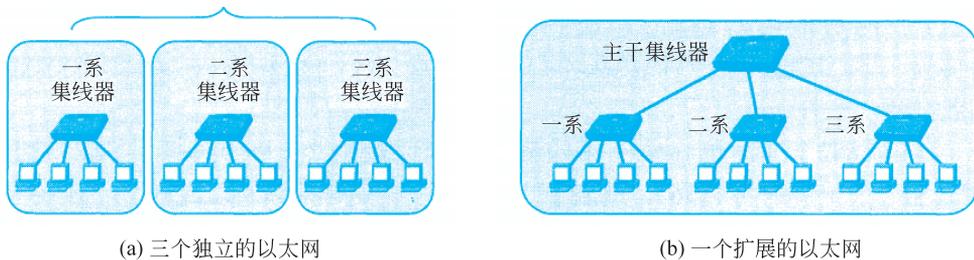


图 3-8 集线器将计算机集中在一起

使用集线器可以连接成覆盖更大范围的多级星形结构的以太网。例如,一个学院的三个系各有一个 10BASE-T 以太网(图 3-9(a)),可通过一个主干集线器把各系的以太网连接起来,使之成为一个更大的以太网(图 3-9(b))。



(a) 三个独立的以太网

(b) 一个扩展的以太网

图 3-9 用多个集线器连成更大的以太网

使用多级集线器可以有以下两个好处。第一,使这个学院不同系的以太网上的计算机能够进行跨系的通信。第二,扩大了以太网覆盖的地理范围。例如,在一个系的100BASE-T以太网中,主机与集线器的最大距离是100m,因而两台主机之间的最大距离是200m。但在通过主干集线器组网后,不同系的主机之间的距离就可大幅扩展,因为集线器之间的距离可以是100m(使用双绞线)甚至更远(如使用光纤)。

2. 集线器的工作原理

下面以普通共享式以太网集线器为例,介绍集线器的工作原理。

从网络体系结构上看,集线器工作在物理层,因此,它只能机械地接收数据信息,经过信号再生后,再将数据信息转发出去。集线器不能识别源地址和目的地址,没有地址过滤功能,所以当其收到数据信息时,为了使数据信息能够传送到目的站点,其将采用广播的方式,即从一个端口接收数据,向除入口之外的所有端口广播,如图3-10所示。

从内部结构看,集线器只有一条背板总线,集线器上的所有端口都挂接在这条总线上,当一个站点通过集线器传输数据时,要独占整个总线的带宽,此时其他站点只能处于接收状态。所以,多个站点要都想发送数据就得用竞争的方法来获得介质访问的权利,因此,集线器多个端口连接的站点共处在一个冲突域中。这种竞争的工作方式使得集线器的每个端口获得的实际带宽只有集线器总带宽的 N 分之一(N 为集线器的端口数量)。以一台8口100Mb/s集线器为例,假设每个端口上的站点发送数据的机会是均等的,那么,由于背板总线被8个站点轮流占用,某站点发送数据时独享100Mb/s带宽,而在其他站点发送数据时,其所占带宽为零,所以在一个发送周期内,每个端口获得的平均带宽只有12.5Mb/s,如图3-11所示。

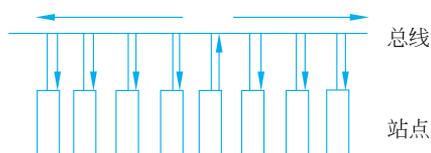


图 3-10 广播通信

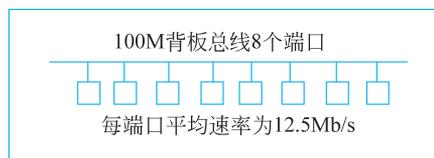


图 3-11 端口均分总线带宽

当局域网站点很多,单个集线器的端口不足以将所有站点接入网络时,可以采用集线器级联的方法组网。有些集线器有级联口(UPLink口),可以用直连线一端连一个集线器的级连口,另一端连接另一个集线器的普通端口;如果集线器没有级联口,则可以用交叉线连接两个集线器的普通口。集线器被级联后,相当于增加了其自身的端口数量,降低了每个端口的平均速率,扩大了广播的范围,也扩大了冲突的范围。

图3-9(a)所示的例子,在三个系的以太网互联之前,每一个系的10BASE-T以太网是一个独立的冲突域,即在任一时刻,每一个碰撞域中只能有一个站发送数据,每一个系的以太网最大吞吐量是10Mb/s,三个系总的最大吞吐量共有30Mb/s。但在三个系的以太网通过集线器互联后三个冲突域就变成了一个冲突域(范围扩大到三个系),如图3-9(b)所示,而这时最大吞吐量仍然是一个系的吞吐量10Mb/s。这就是说,当某个系的两个站在通信时所传送的数据会通过所有的集线器进行广播,使得其他系的内部在这时都不能

通信(一发送数据就会碰撞)。

如果不同的系使用不同的以太网技术(如数据率不同),那么就不可能用集线器将它们互连起来。如果在图 3-9 中,一个系使用 10Mb/s 的适配器,而另外两个系使用 10/100Mb/s 的适配器,那么用集线器将其连接起来后,大家都只能工作在 10Mb/s 的速率下。集线器基本上是个多接口(即多端口)的转发器,它并不能缓存帧。

3. 集线器的分类

集线器也像网卡一样是伴随着网络的产生而产生的,它的产生早于交换机,更早于后面将要介绍的路由器等网络设备,所以它属于一种传统的基础网络设备。集线器技术发展至今,也经历了许多不同主流应用的历史发展时期,所以集线器产品也有许多不同类型。

1) 按端口数量来分

这是最基本的分类方法之一。人们常说要买一个“16 口”或“24 口”集线器,这个“16 口”“24 口”指的就是集线器的端口数。如果按照集线器能提供的端口数来分的话,目前主流集线器主要有 8 口、16 口和 24 口等大类,但也有少数品牌提供非标准端口数,如 4 口和 12 口的,另外还有 5 口、9 口、18 口的集线器产品,这主要是想满足部分对端口数要求过严、资金投入又比较谨慎的用户的需求。

2) 按带宽划分

集线器也有带宽之分,按照集线器所支持的带宽可将其分为 10Mb/s、100Mb/s、10/100Mb/s 自适应 3 种,基本上与网卡一样(网卡还有 1000Mb/s 的,但 1000Mb/s 以上带宽的集线器功能一般都由交换机来提供)。

3) 按照配置的形式分

集线器是最基础的网络设备,也是网络集中管理的最基本单元,它同时又几乎不需要什么软件来支持,所以它配置起来非常简单、方便,一般情况下只需要把结点连接好,插上电源,开启各结点即可完成配置。如果按整个集线器的配置来分,一般可将其分为独立型集线器、模块化集线器和堆叠式集线器 3 种。

(1) 独立型集线器。这种类型的集线器在低端应用是最多的,也是最常见的。独立型集线器是带有许多端口的单个盒子式的产品,多个端口共享总线带宽,与之相连的站点必须以相同的速率工作。独立型集线器具有价格低、容易查找故障、网络管理方便等优点,在小型的局域网中广泛使用。但这类集线器的工作性能比较差,尤其是在速度上缺乏优势。

(2) 模块化集线器。模块化集线器一般都配有机架,带有多个卡槽,每个槽可放一块通信卡,每个卡的作用就相当于一个独立型集线器,多块卡通过安装在机架上的通信底板进行互联。

(3) 堆叠式集线器。堆叠式集线器可以将多个集线器堆叠使用,通过特定端口互连在一起,当 5 个 12 口的集线器堆叠在一起时,可以将其看作是 1 个 60 口的集线器。堆叠在一起的集线器可以当作一个单元设备来管理。一般情况下,当有多个集线器堆叠时,其

中将存在一个可管理集线器,利用可管理集线器可对此堆叠式集线器中的其他独立型集线器进行管理。堆叠式集线器可以非常方便地实现网络的扩充。

堆叠和级联的区别在于,级联是通过集线器的某个端口与其他集线器相连的,而堆叠是通过集线器的背板连接起来的。虽然级联和堆叠都可以实现端口数量的扩充,但是级联后每台集线器在逻辑上仍是多个被管理的网络设备,而堆叠后的数台集线器在逻辑上是一个被管理的网络设备。

4) 从是否可进行网络管理来分

按照集线器是否可被网络管理分,其有不可通过网络进行管理的不可网管型集线器和可通过网络进行管理的可网管型集线器两种。

(1) 不可网管型集线器。这类集线器也称为傻瓜集线器,是指既无需进行配置,也不能进行网络管理和监测的集线器。该类集线器属于低端产品,通常只用于小型网络,这类产品比较常见,只要插上电、连上网线就可以正常工作。

(2) 可网管型集线器。这类集线器也称为智能集线器,是可通过 SNMP(Simple Network Management protocol,简单网络管理协议)对自身和其他集线器进行简单管理的集线器,这种管理大多是通过增加网管模块实现的。可网管集线器在外观上都有一个共同的特点,即在集线器前面板或后面板都提供一个 Console 端口。虽然 Console 端口的接口类型因品牌或型号而可能不同,有的为 DB-9 串行口,有的为 RJ-45 端口,但所有可网管型集线器都必须通过该接口实现管理功能。

3.2.2 中继器

1. 中继器及其作用

中继器(如图 3-12 所示)是一种延伸网络覆盖范围的设备,其主要作用是将接收的信号再生或放大,然后再传输出去。不管哪种类型的局域网,其最大联网距离都是有限的,如 10BASE-2 网络一个网段跨越距离不能超过 185m,10BASE-5 网络一个网段跨越距离不能超过 500m,而各种双绞线网络一个网段跨越距离一般不能超过 100m 等。如果需要更远的连接,就需要使用中继器,如图 3-13 所示。



图 3-12 中继器

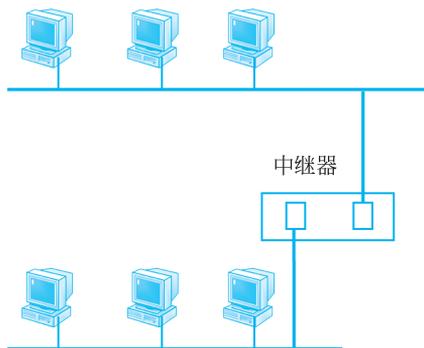


图 3-13 用中继器扩展网络

但是,中继器并不能无限地延伸网络,各种协议对于能使用的中继器数目有各自的限制,这是因为中继器延长了网络传输距离,同时也增加了信号传输时间,而网络上由于MAC定时特性所致对信号传输时延是有上限要求的。例如,在以太网中规定最多可以使用4个中继器,连接5个网段,且这5个网段中只有3个能安装设备,另两个网段仅作延长距离之用。这被称为以太网的5-4-3规则。

集线器也可以起到信号再生放大作用,因此,集线器是一个多端口的中继器。

2. 中继器的分类

中继器可分为两类:直接放大式和信号再生式。

直接放大式中继器即是一个简单的信号放大器。经过一段传递后到达的信号会发生幅度衰减现象,波形变差并且叠加了各种噪声,在经过直接放大式中继器后所有这些都将被放大传递到下一个网段中去,如图3-14(a)所示。

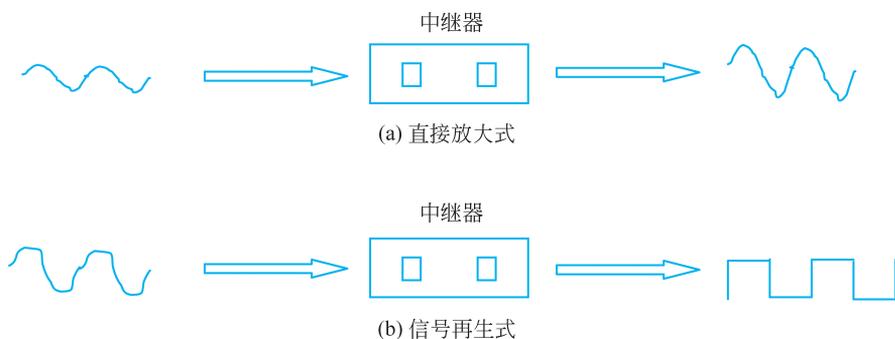


图 3-14 放大式中继器与再生式中继器

信号再生式中继器不但有放大功能而且有信号再生功能,它对输入的信号重新进行放大和整形,再将所得“干净”的无噪声信号送入下一个网段,如图3-14(b)所示。

3.2.3 调制解调器

调制解调器也叫 modem,它是通过电话拨号接入 Internet 的必备硬件设备。通常计算机内部使用的是数字信号,而通过电话线路传输的信号是模拟信号。调制解调器的作用就是当计算机发送信息时,将计算机内部使用的数字信号转换成可以用电话线传输的模拟信号,通过电话线发送出去;接收信息时,把电话线上传来的模拟信号转换成数字信号传送给计算机,供其接收和处理。

3.3 数据链路层上的网络设备

3.3.1 网卡

1. 网卡及其作用

网卡又叫网络接口卡或网络适配器,是组建网络必不可少的设备,每台联网计算机至少要具备一块网卡。网卡一端有与计算机总线结构相适应的接口,另一端则提供与传输介质的接口。网卡可以将计算机与传输介质连接起来。从网络体系结构角度看,在 OSI 参考模型中,网络应该具有 7 层结构,网卡提供 OSI 参考模型的物理层和数据链路层服务功能,使计算机具有通信功能,实现低层通信协议。网卡还给计算机带来了一个地址,使计算机在网络中具有唯一标识,这个地址叫物理地址或 MAC 地址。网卡有许多种类型,但由于以太网是当前市场的主流产品,所以本节主要结合以太网卡来介绍网卡的基础知识。图 3-15 列出了几个网卡的图片。



图 3-15 网卡

2. 网卡的功能

网卡的功能结构如图 3-16 所示。在网络通信中,网卡主要完成以下功能。

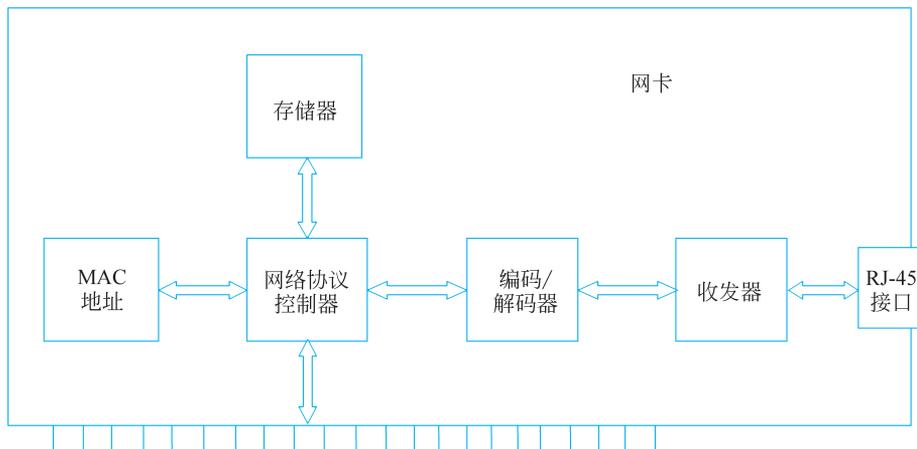


图 3-16 网卡的功能结构

(1) 连接计算机与网络。网卡是局域网中连接计算机和网络的接口,它通过总线接口连接计算机,通过传输介质接口连接网络。多数网卡支持一种传输介质,但是也有同时支持多种介质的网卡,如二合一网卡、三合一网卡等。

(2) 进行串行/并行转换。网卡和局域网之间的通信是通过同轴电缆、双绞线或电磁波以串行传输方式进行的,而网卡和计算机之间的通信则是通过计算机主板上的 I/O 总线以并行传输方式进行的。因此,网卡的一个重要功能就是要进行串行/并行转换。在发送端,网卡要将来自计算机的并行数据转换成串行数据,使之能在网络里传输;在接收端,网卡要将来自网络传来的比特串转换成并行数据交给计算机。

(3) 实现网络协议。不同类型的网络,其介质访问控制方法以及发送接收流程是不同的,传输的帧格式也是不同的,使用什么协议进行通信,取决于网卡上的协议控制器,协议控制器决定了网络中传输的帧格式和介质访问控制方法。在发送端,网卡负责将数据组装成帧,加上帧的控制信息;在接收端,网卡负责识别帧,并负责卸掉帧的控制信息。

(4) 差错检验。网卡将以帧为单位检查数据传输错误。在发送端发送数据时,网卡负责计算检错码,并将其附加到数据的后面;在接收端,网卡负责检查错误,如果收到错误的帧,就将之丢弃,如果收到正确的帧就送至主机。

(5) 数据缓存。在发送端,主机将数据发送给网卡,网卡发送数据并将发送的数据暂存在自己的缓存中。如果接收端发来确认信息,网卡就将缓存中的数据清除掉,腾出缓存发送新的数据。如果接收端没有正确收到,网卡就从缓存中重发数据,直到接收端正确收到为止。在接收端,缓存用于暂存已经到达但还没有处理的数据,每处理完一帧数据,就将该数据从缓存中清除,准备接收新的数据。

(6) 编码解码。为改善传输质量,发送端网卡在发送数据的时候需要对传输的数据重新编码。以以太网为例,在发送数据时,要对数据进行曼彻斯特编码后将之送传输介质传输;在接收端,网卡从传输介质接收曼彻斯特编码,并将其还原成原来的数据。

(7) 发送接收。网卡上装有发送器和接收器,用于发送信号和接收信号。

3. 网卡地址

每块网卡都有一个世界上独一无二的地址,这个地址叫物理地址,又叫 MAC 地址,这个地址在网卡的生产过程中就被写入到网卡的只读存储器中。以太网卡的物理地址是由 48 位二进制数组成的,但是,由于二进制数不便于书写和记忆,所以实际表示时用 12 位十六进制数来表示,十六进制数到二进制数的转换很简单,即将每 4 位二进制数写成 1 位十六进制数就行了。

例如,网卡地址 0000 0000 0110 0000 0000 1000 0000 0000 1010 0110 0011 1000 用十六进制数表示为 00-60-08-00-A6-38。

这 48 位二进制数中,前 24 位为企业标识,后 24 位是企业给网卡的编号。

为了统一管理以太网的物理地址,保证每个网卡物理地址在全世界唯一,不与其他地址重复,IEEE 注册管理委员会(RAC)为每一个网卡生产商分配一个 24 位的企业标识,这就意味着生产厂商获得一个企业标识后,它可以生产 2^{24} (16777216) 块网卡。

在 Windows 操作系统下,要查看网卡地址可以使用 IPCONFIG /ALL 命令,具体步

骤如下。

- (1) 单击【开始】菜单,选择【运行】(新版本 Windows 中在 Windows 桌面按 Windows+R 组合键)。
- (2) 在【运行】对话框中输入 cmd,然后单击【确定】,打开命令行窗口。
- (3) 输入 ipconfig /all 命令即可查看网卡上的物理地址,如图 3-17 所示。

```
Windows IP 配置

主机名                : USER-20190320HW
主 DNS 后缀           :
节点类型              : 混合
IP 路由已启用        : 否
WINS 代理已启用      : 否

以太网适配器 本地连接:

   连接特定的 DNS 后缀 . . . . . :
   描述 . . . . . : Realtek PCIe GBE Family Controller
   物理地址 . . . . . : 1C-66-6D-93-AF-EC
   DHCP 已启用 . . . . . : 是
   自动配置已启用 . . . . . : 是
   IPv6 地址 . . . . . : 2001:da8:23a:36:75fa:1aa8:a5c:2301<首选>

   临时 IPv6 地址 . . . . . : 2001:da8:23a:36:58e5:37f7:1:ee0<首选>
   本地链接 IPv6 地址 . . . . . : fe80::75fa:1aa8:a5c:2301%12<首选>
   IPv4 地址 . . . . . : 192.168.36.179<首选>
   子网掩码 . . . . . : 255.255.255.0
   获得租约的时间 . . . . . : 2021年11月9日 8:23:05
   租约过期的时间 . . . . . : 2021年11月9日 17:22:27
   默认网关 . . . . . : fe80::e2cc:7aff:fe92:c567%12
   . . . . . : 192.168.36.254
   DHCP 服务器 . . . . . : 192.168.0.239
   DNS 服务器 . . . . . : 192.168.0.238
   TCP/IP 上的 NetBIOS . . . . . : 已启用
```

图 3-17 查看网卡地址

3.3.2 网桥

1. 网桥及其作用

网桥是一个实现网络互连的设备,它可以在数据链路层上连接两个局域网,使之相互通信。网桥设备如图 3-18 所示。从网络体系结构的角度看,网桥是数据链路层的设备,它可以识别帧和物理地址。相对于物理层上的互连(用中继器或集线器连接两个局域网)而言,网桥有地址过滤功能,它能够识别哪些地址属于同一个网络。如果源地址和目的地址属于同一个网络,网桥就丢弃数据帧,不会向其他网络转发;如果源地址与目的地址不



图 3-18 网桥

1) 建立桥接表

某站点发送数据帧时,网桥收到这个数据帧后会读取帧中的源地址和目的地址,并将源地址和接收该帧的端口记录在桥接表中,如此,经过一段时间后,桥接表中就会逐渐填满记录,形成一张完整的信息表。这个表的内容是动态的,如果某个站点长期不发送数据,它的记录将被清除。网桥的这种自己建立桥接表的功能叫自学习功能。网桥的桥接表如表 3-3 所示。这个桥接表就是网桥过滤地址、转发数据的依据。

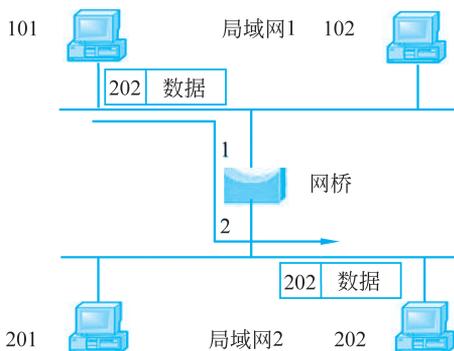


图 3-20 网桥的工作原理

表 3-3 网桥的桥接表

端口	MAC 地址
1	101
1	102
2	201
2	202
...	...

2) 转发数据

网桥依据桥接表转发数据,当网桥收到一个数据帧时,会读取帧中的源地址和目的地址,然后去查桥接表。根据桥接表中记录的信息,网桥可能采用以下几种策略。

(1) 如果源地址和目的地址对应的端口是同一端口,网桥会认为这是一个网络内部的通信,进而丢弃该数据帧。

(2) 如果源地址和目的地址对应的端口号不同,网桥会向目的地址对应的端口转发该数据帧。

(3) 如果读取的目的地址在桥接表中没有相对应的记录,为了能够将数据送达接收站点,网桥将向除接收端口外的所有端口广播该数据帧。

3. 网桥的类型

网桥的类型较多,但大都可以归纳为 IEEE 802 委员会制定的两种类型:透明网桥 (transparent bridge) 和源路由网桥 (source routing bridge)。

1) 透明网桥

透明网桥(也叫自学习网桥)在网桥内部会有一个记录了各端口所连接网络站点地址的数据库,即桥接表,之前本节介绍的网桥原理就是透明网桥的原理。

之所以叫透明网桥,是因为这种网桥对网上计算机而言完全透明。透明桥的主要优点是安装和管理十分方便,且与目前的 IEEE 802 产品兼容,缺点是功能较简单,只能决定数据是转发还是丢弃,不能选择数据传输的最佳路径。

2) 源路由网桥

源路由网桥与透明网桥不同,它没有所连接网段上站点信息的桥接表,而是根据数据

帧里包含的路由信息来转送数据的。源路由网桥通常用于令牌环网络。

在令牌环网络上,路由信息是由源站点放在数据包里的,一个站点在与另一个站点通信之前必须先寻找到通向目的站点的路径。源站首先向全网广播一个探测数据包,当该数据包经过每一个源路由网桥时,网桥会将路由信息放入到该数据包中去。这样,当这个数据包到达目的站点时,其内部就包含了一张它所经过的所有网段和网桥的表,有时这样的表被称为“地图”。目的站点会使这个探测数据包按原路返回,当源站点重新收到它发出的探测包后,就可以从这个包内找到一条到达目的地站点的完整路径。

在探测到一条通向目的地站点的路径后,源站点会把相应的路由信息放入所有发向该目的站点的数据包中,中间各网桥再依据包中的路由信息将数据向前传递。

由于网络的复杂性,从一个站点到另一个站点的路径可能不止有一条,这时源站可以从得到的几条不同路径中按照某一准则选择出一条,从而实现最佳路径选择,更好地平衡网络负载,提高网络性能。

4. 生成树算法

1) 循环连接

在比较复杂的网络互连环境中,有可能出现类似图 3-21 这样的循环连接(回路)情况。该情况一旦出现,将导致网桥循环转发一个数据帧,严重降低网络性能。

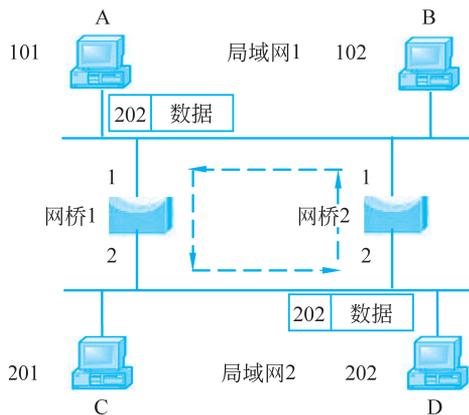


图 3-21 网桥循环连接

在图 3-21 中,假设地址为 101 的主机 A 向地址是 202 的主机 D 发送一个数据帧 F,网桥 1 和网桥 2 都会在自己的 1 号端口(代表局域网 1)收到这个数据帧,并且都会在自己的地址表里做记录:101 的记录是来自自己的端口 1;因为桥接表中原来没有主机 D 的地址,所以网桥 1 和网桥 2 都会用广播的方法将数据帧发送给局域网 2,网桥 1 发送的数据帧将被网桥 2 接收,于是,网桥 2 会认为数据帧 F 的源地址 101 来自 2 号端口(局域网 2,这是最关键的一个错误),于是其将修改桥接表;同样,网桥 2 发送的数据帧也将被网桥 1 收到,网桥 1 也会将桥接表中 101 地址修改为端口 2;接下来,网桥 1 和网桥 2 还是没有找到主机 D 的地址,于是又向局域网 1 广播,如此下去,F 帧将在网络中无限循环,网桥中的桥接表也将不断地循环更新,一会儿是 101 来自端口 1,一会儿又指明 101 来自端口 2。